

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Kärt Poots

# Nutikasvuhooone

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendajad: vanemteadur Heiki Kasemägi

elektroonikaspetsialist Teet Tilk

Tartu 2018

# Resümee/Abstract

## Nutikasvuhuone

Kasvuhooned nõuavad tihti palju hoolt ning järelvalvet. Inimeste töö lihtsustamiseks saab tavasuures kasvuhuone haldamise usaldada tehnikale. Selle bakalaureusetöö eesmärgiks on luua võimalus taimede kasvatamiseks ning hooldamiseks mobiilse rakenduse abil kodust eemal. Töös antakse ülevaade sarnastest projektidest, projekti puudustest, eelistest ning projekti ärilistest võimalustest praegusel turul. Töö tulemusel disainiti ja valmistati prototüüp rakenduse abil juhitud kasvuhoonest.

**CERCS:** T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; T125 Automatiseerimine, robotika

**Märksõnad:** arvutid, kontroll, robotika, elektroonika, mehaanika

## Smart greenhouse

Greenhouses often need a lot of care and surveillance. Technology can simplify human input in managing a full sized greenhouse. The purpose of this thesis is to create an opportunity to take care and grow plants away from home with the help of an app. In this thesis, there is an overview of similar projects, the pros and cons of the project are brought up as well as the business opportunities of this in the current market. A fully functional greenhouse prototype controllable by a smartphone app was designed and built as a result of this thesis.

**CERCS:** T120 Systems engineering, computer technology; T125 Automation, robotics

**Keywords:** computers, control, robotics, electronics, mechanics

# Sisukord

Resümee/Abstract .....	2
Tähised, lühendid ja definitsioonid.....	5
1 Sissejuhatus .....	6
1.1 Probleemi tutvustus .....	6
1.2 Töö eesmärk.....	6
2 Olemasolevad lahendused .....	7
2.1 Kommertstooted.....	7
2.1.1 Sensaphone kaugjärelvalvesüsteemid .....	7
2.1.2 Growtronix.....	8
2.1.3 Monnit kasvuhoone järelvalve .....	8
2.1.4 GrowlinkOS .....	9
2.2 Isiklikuks kasutamiseks loodud sarnased projektid .....	9
2.2.1 Arduino abil juhitud kasvuhoone Blynk rakendusega.....	9
3 Nõuded lahendusele .....	10
4 Nutikasvuhoone komponendid .....	11
4.1 Seadme struktuur.....	11
4.2 Kasutatud riistvara.....	11
4.2.1 Raspberry Pi 3 B-mudel .....	11
4.2.2 xBee Series1 802.15.4 .....	12
4.2.3 Mikrokontroller.....	12
4.2.4 Mullaniiskusandur VMA303 .....	12
4.2.5 Temperatuuri- ja õhuniiskusandur DHT22.....	12
4.2.6 Solenoid-veeklapp.....	13
4.2.7 Täitur .....	13
4.2.8 Veenivoo andur FLOODSW1.....	13
4.2.9 Herkonrelee.....	13
5 Loodud riistvara .....	14

6 Loodud tarkvara .....	15
6.1 Androidi rakendus .....	15
6.2 Serveri tarkvara .....	17
6.3 Mikrokontrolleri püsitarkvara.....	19
7 Päikesepaneeli arvutus .....	20
8 Kokkuvõte .....	23
9 Kasutatud kirjandus.....	24
Lisa 1. Trükkplaadi disain .....	27
Lisa 2. Trükküplaadi skeem .....	28
Lisa 3. Valminud kasvuhoone kontrollier .....	29
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemisel .....	30

# Tähised, lühendid ja definitsioonid

**ADC** (*Analog-to-Digital Converter*) – analoog-digitaalmuundur [1].

**Server** – programm, mis pakub teenuseid teistele programmidele (klientprogrammidele). Ühendus kliendi ja serveri vahel toimub tavaliselt sõnumite edastamise teel (enamasti üle võrgu) ning kasutatakse kokkulepitud protokollide kliendi nõuete ja serveri vastuste kodeerimiseks [1].

**SSH** (*Secure Shell*) – turvakest. Käsuliides ja krüptograafiline võrguprotokoll, mis võimaldab turvalist võrguteenuste opereerimist üle turvamata võrgu. Peamiselt kasutatakse SSH'd arvutisüsteemidesse kaugsisselogimisel [1].

**PWM** (*Pulse Width Modulation*) – pulsilaiusmodulatsioon. PWM on konstantse amplituudiga impulsside jada, kus periood on konstantne, aga impulsside kestus muutub [2].

**UART** (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) – universaalne asünkroonne vastuvõtja/saatja [3].

**USB** (*Universal Serial Bus*) – universaalne järjestiksiin, universaal-jadasiin [1].

**GPIO** (*General Purpose Input/Output*) – üldotstarbeline sisend-väljundviik või -port [4].

# 1 Sissejuhatus

## 1.1 Probleemi tutvustus

Tänapäeval üritatakse inimeste tegevusi lihtsustada masinatega. Kasvuhoone haldamine on väga ajamahukas tegevus: taimed vajavad kindlat temperatuuri ja niiskust vastavalt taimesordile ning selle kontrollimiseks on vaja pidevat järelvalvet [5]. Selle lihtsustamiseks saab luua kasvuhoone, mida saab juhtida kaugemalt, tagades taimedele täpselt õige vajaliku kasvukeskkonna.

## 1.2 Töö eesmärk

Bakalaureusetöö eesmärgiks on luua prototüüp nutikast kasvuhoonest, mis annab kasutajale võimaluse jälgida ja juhtida kasvuhoonet ka väljaspool koduseid tingimusi. Nutikas kasvuhoone on mugav lahendus. See tekitab väiksema füüsilise töö vajaduse, muudab põllukultuuri jätkusuutlikumaks, hõlbustab kasvuhoone tingimuste ülevaate saamist ning nende tingimuste mõjutamist. Selline lahendus on ka kergesti ligipääsetav ning kasutajasõbralik, sest tänapäeval on suuremal osal inimestest nutiseadmed, millega saab antud kasvuhoonet juhtida, näiteks Androidi operatsioonisüsteemiga nutitelefonid või tahvelarvutid [6].

## 2 Olemasolevad lahendused

Turul on mitmeid sarnaseid tooteid, mis on suuremas osas täisautomaatsed jälgimissüsteemid, millest mõnel on võimalus ka mootoreid juhtida, kuid keskenduvad üldjuhul andurite näitude edastamisele [7].

Valikuvõimalused sisaldavad nii valmistehtud lahendusi kui ka ise loodavate lahenduste juhiseid. Mitmed alljärgnevatest lahendustest pole mõeldud ainult kasvuhoone haldamiseks, vaid on sobivad ka muudes valdkondades, sest tarkvara võimaldab ühendada erinevaid andureid keskkete seadmete külge ning seetõttu muuta toote ka palju mitmekülgsemaks.

### 2.1 Kommertstooted

#### 2.1.1 Sensaphone kaugjäreelvalvesüsteemid

Kasvuhoonetele soovitatakse kolme süsteemi: Sensaphone 1800, Sensaphone Express II ning Sensaphone Scintinel [8].

**Sensaphone 1800** [9] on järeelvalvesüsteem, mis jälgib kasvuhoonesisest niiskust, temperatuuri, ventilatsiooni, CO<sub>2</sub> taset ning voolukatkestusi, et taimedel oleks kindel ning stabiilne keskkond. Süsteem sobib nii väiksemate kasvuhoonetele, ärilisel eesmärgil kasvatajatele kui ka jackaupmeestele. Süsteem jälgib andurite seisundeid ööpäevaringselt. Sellel on kaheksa porti, kuhu saab kinnitada kuni kaheksa andurit. Kasvuhoone seisundit saab jälgida kohapeal või telefoni abil, edastades telefonikõne kuni kaheksale inimesele, kui näidud on ületanud kriitilisi piirväärtusi [9]. Kaugjäreelvalvesüsteemi hinnaks on 822 eurot [10]. Hinna sisse kuulub Sensaphone 1800, üks temperatuurisensor ning 12 tundi püsiv tagavara toitesüsteem voolukatkestuste ajaks.

**Sensaphone Express II** on sarnane 1800 mudelile. See sobib paremini suurematele kasvuhoonetele, omades 40 sisendkanalit ning 16 väljundkanalit. See on võimeline teavitama kuni 48 inimest [11]. Hind 1507 eurot [12].

**Sensaphone Sentineli** erinevus eelnevate mudelitega seisneb selles, et vea tuvastamise saadab ta teavituse telefonikõne, sõnumi või emailina – see tähendab, et tal on internetiühenduse tugi. Sentinel võimaldab kliendil saada päevaseid raporteid juhtunu kohta ning kasutajad saavad lugeda ning muuta informatsiooni veebist või mobiilirakendusest. Süsteem salvestab kõik näidud pilve. Erinevus teistest mudelitest on ka sisend-väljundkanalite arvus: seadmega saab ühendada kuni 12

andurit. Mobiilside modem võimaldab luua seadmel mobiilse andmeside ühenduse üle GSMi andmete edastamiseks ka kohtades, kus pole tagatud internetisidet [13]. Hind on 453 eurot [14].

### **2.1.2 Growtronix**

Growtronix [15] on autonoomne moodulseade, mis koosneb tarkvarast ning netiliidese moodulist. Seade on mõeldud igas suuruses kasvuhoonetele, sest andureid saab kergesti juurde lisada. Iga netiliidese mooduli külge saab ühendada kuni 32 riistvaramoodulit. Seadmed ühendatakse baassüsteemiga Cat5e kaablite abil. Growtronixi seadistamiseks, jälgimiseks ning juhtimiseks saab kasutada nutiseadmeid või arvutit, millesse on paigaldatud Growtronixi tarkvara [15]. Growtronixi süsteemi eeliseks on modulaarsus: peale põhitarkvara saab kasutaja ise valida, kui palju ning milliseid andureid ta lisada soovib. Growtronixi eeliseks on ka moodul, mille külge saab ühendada mootoreid, näiteks solenoide, mis avanevad ning sulguvad vastavalt tarkvaras märgitule [16]. Süsteem tundub olevat ka väga kergesti parandatav, sest ühe mooduli katkimisel saab selle lihtsalt asendada. Seadmega suhtlemine on nagu eelnevatelgi seadmetel: kasutaja saab vajadusel sõnumi või meili. Süsteemi eeliseks on ühtlasi see, et ta arvutab kogu elektrikulu ning kasutusaja, mida eelnevad tooted ei tee. Baassüsteem maksab 586 eurot. Iga lisaanduri hind on vahemikus 41 eurot kuni 276 eurot [15].

### **2.1.3 Monnit kasvuhoone järelvalve**

Erinevalt eelnevatest seadmetest koosneb Monnit [17] juhtmevabadest anduritest, mida juhitakse raadioside abil (valikus 900, 920, 868 ja 433 MHz), juhtmevabast interneti/mobiilsideühendusest ning tarkvarast iMonnit, mis on sobilik nii nutiseadmetele kui ka tavaarvutitele. Monniti järelvalvesüsteemid on mõeldud igas suuruses kasvuhoonetele ja nii kodukasvatajatele kui ka suurettevõtetele.

Monnit on täisautomaatne süsteem, mis jälgib temperatuuri, niiskust ja valgust. Kasutajale saadetakse teavitus sõnumi, meili või telefoni teel. Monnit käivitab lokaalse alarmi, kui mõõteparameetrid väljuvad optimaalsetest piiridest või kui kasvuhoone aken ja uks on jäetud lahti. iMonnit Premiere tarkvara maksumuseks on 39 dollarit ehk 33 eurot ning see võimaldab kasutajal hallata kuni 10 000 andurit kasutaja kohta (500 andurit võrgu kohta).

Monniti eelisteks on juhtmevaba suhtlus andurite vahel. Selle puuduseks on, et mootoreid ei saa juhtida, sest tarkvara kasutatakse ainult järelvalveks.



Monnit on loonud ka tarkvara iMonnit Enterprise, mida kasutatakse suurettevõtetes. Süsteemi hind on kuni 250 juhtmevaba sensori puhul 599 dollarit ja kuni 2000 sensori puhul 4495 dollarit. Andurite hinnad on vahemikus 41,4 eurot kuni 200 eurot, millest odavam on temperatuuriandur [17].

#### **2.1.4 GrowlinkOS**

GrowlinkOS [18] on rakendusega juhitud kasvuhuone või väiksema ruumi haldamiseks. Seade mõõdab temperatuuri, niiskust, CO<sub>2</sub> taset ja valgustust. Kontrolleri sisaldab kahte voolukaablit välisseadmetele: näiteks aknamootorite, valguse või kaamerate juhtimiseks. Seade on mõeldud pigem väiksemate kasvuhoonete haldamiseks, sest andurid asuvad keskseadmes ning seetõttu ei saa ruumi kaugematest osadest näitusid. Growlinki saab laiendada, ostes juurde kontrollereid, kuid võrreldes eelnevate mooduliseadmetega, oleks see suure kasvuhuone jaoks liiga kallis. Kontrolleri külge on võimalik ühendada ka kaamera. Seade ise on ehitatud ARM Cortex M3 mikroprotsessori baasil, ühendub rakendusega üle WiFi ning on juhitud telefoni või tahvelarvutiga, mille iOS versioon on 8 või hilisem ning Androidi versioon 4 või hilisem. Growlink on väga kompaktne ning ühes tükis. Kontrolleri hind on 1090 eurot. Turul olevatest seadmetest on see kõige sarnasem käesoleva bakalaureusetöö raames loodavale, sest kogu juhtimine toimub läbi rakenduse ja seade on kompaktne [18].

## **2.2 Isiklikuks kasutamiseks loodud sarnased projektid**

### **2.2.1 Arduino abil juhitud kasvuhuone Blynk rakendusega**

Antud seadet [19] kontrollitakse Arduino [20] arendusplaadi abil. Seadmel on veesüsteem, kus kasutatakse vihmavett, et niisutada ühe pihusti abil õhku ning kasta veepaagist taimi. Iga veepumba kohta on paigaldatud kasvuhuonesse neli vihmurit. Mullaniiskust mõõdetakse iga 30 minuti järel mullaniiskuseanduriga. Õhutust reguleeritakse PWM'i abil juhitud ventilatoritega. Kasvuhuonesisest temperatuuri mõõdetakse kahe DS18B20 temperatuurianduriga, mis saadavad andmeid iga 10 sekundi järel Arduinosse. Kõiki süsteemi parameetreid, mille abil jahutus- ja veesüsteemi käivitatakse, saab muuta Blynk rakenduses oleva liidesega. Rakendus kuvab ka temperatuurigraafikut kuni kolme kuu lõikes [19].

### 3 Nõuded lahendusele

- Skaleeritav: kasvuhoone kontrollerit peab olema kohandatav kuni  $18\text{m}^2$  suurusele kasvuhoonele.
- Kaugjuhitavus: kasvuhoone kontroller peab olema ligipääsetav nii kohalikus võrgus kui kaugvõrgus ning olema Androidi rakenduse abil juhitav. Kontroller võib paikneda serverist kuni 90 meetri kaugusel, sest see on xBee [21] maksimaalne raadioside levikaugus otsenähtavuse korral.
- Integreeritav: kontroller peab olema olemasolevale kasvuhoonele kergesti paigaldatav. Kontroller peab olema füüsilistelt mõõtmetelt väike:  $8,5\text{cm} \times 10\text{ cm}$ .
- Kasutajasõbralikkus: kasutajal peab olema rakendusega lihtne näitude põhjal reguleerida kasvuhoone sisekliimat. Mootorid on nuppude abil juhitavad ning ajalise piiranguga töötavate mootorite korral kuvatakse kasutamisaja pikkus. Andurite näidud ilmuvad ekraanile kohe rakenduse avamisel ning neid saab uuendada nupulevajutusega. Nupulevajutusega juhtimine võimaldab kasvuhoone kontrolleri voolutarvet vähendada, kui andmeid uuendada erineva intervalliga. Kasutaja rakenduse avamisel kuvatakse ekraanil värsked andmed ning andmete uuendamine nupu abil ei võta aega üle kahe sekundi.
- Turvalisus: Androidi rakendus peab serveriga suhtlemiseks kasutama võrguprotokolli, mis võimaldab nutiseadme ja serveri vahelist turvalist kommunikatsiooni.
- Funktsionaalsus: kontroller peab olema võimeline avama aknaid, et hoonet õhutada ning omama kastmisfunktsiooni, et taimede kasvukeskkonda ühtlasena hoida. Seade ei pea ise automaatselt mootoreid näitude põhjal juhtima. Otsuse võtab vastu kasutaja, kes rakenduses temperatuuri- ja niiskusunäitude põhjal annab käsu mootori käivitamiseks. Seade peab mõistma, kui kastmiseks vett hoidev paak on tühi või kui hakkab saama liiga täis.
- Pritsmekindel: kasvuhoones oleva süsteemi korpus peab olema kaitstud otsese vee eest, et trükkplaadil olev elektroonika ei saaks veekahjustusi.

## 4 Nutikasvihuone komponendid

### 4.1 Seadme struktuur

Seade koosneb kolmest suuremast osast:

- trükkplaadist
- serverist
- androidi rakendusest

Trükkplaat hõlmab kogu loodud elektroonika osa. See on 12 voldise pingega toidetav süsteem, mis loeb andurite infot ning juhib mootoreid. Seade on kohandatav päikesepaneeliga toitmiseks, et vältida elektrivõrgu juhtmete vedamist kasvuhoonesse.

Server võtab vastu androidi rakendusest tulevad käsud, töötleb need, ning saadab edasi kasvuhoonesse. Vastupidiselt võtab server infot kasvuhoonest ning saadab selle edasi rakendusele.

Androidi rakenduses on kasutajal võimalus näha andurite näitusid ja juhtida akende avamist ning veesüsteemi töölepanemist.

### 4.2 Kasutatud riistvara

#### 4.2.1 Raspberry Pi 3 B-mudel

Raspberry Pi on väike ARM protsessoril töötav arvuti [22]. Selle arendajaks on Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi operatsioonisüsteem ning selle tööks vajalikud programmid asuvad MicroSD kaardil. Kasutatud on mudelit Raspberry Pi 3 Model B, mis oli töö alustamisel kõige viimane mudel. Samuti räägib seadme kasuks internetis leiduvate näidete hulk. Väikese suuruse kohta on antud mudel väga võimekas. Sel on 40 GPIO viiku ning 4 USB2 porti. USB pordi külge on adapteri abil ühendatud xBee moodul, mis suhtleb kasvuhoone kontrolleri küljes oleva xBeega. Arvutil on ka sisseehitatud WiFi moodul ja Bluetooth Low Energy moodul [22, 23].

#### **4.2.2 xBee Series1 802.15.4**

xBee on Digi Internationali poolt toodetud manuslahendus [21], mis vahendab infot raadioside abil teistele samal sagedusel töötavatele xBee seadmetega.

Xbee vastab madala kiirusega võrgustandardile IEEE 802.15.4. Selle kandevsageduseks on 2.4 GHz [21]. Antud projektis kasutatakse xBeed kontrolleri andmete edastamiseks. Valiku peamiseks põhjuseks on xBee madal voolutarve ja kasutajasõbralikkus. Andmete edastamiseks kulub 45mA ning vastuvõtmiseks 50mA 3.3V pinge korral. Seadme kasuks räägib ka andmete edastamise kaugus kuni 90 meetrit ja lihtne seadistamine. Xbee ei nõua eraldi konfigureerimist. Andmeid edastatakse läbi jadapordi [21].

#### **4.2.3 Mikrokontroller**

Prototüübi jaoks kasutan ATmega32U4 mikrokontrollerit [24]. See on Atmeli firma AVR arhitektuuril põhinev kaheksabitine mikrokontroller. Kontrolleri valiku kasuks osutus sisend- ja väljundviikude piisav arv ning eelnev kogemus Atmeli mikrokontrollerite programmeerimisel. Mikrokontrolleril on ühtlasti võimalus suhelda üle UARTi, mida kasutatakse andmete edastamisel serverile. Mikrokontrolleri ADC sisendit saab kasutada analoogsignaali väljastava mullaniiskusanduri jaoks. PWM väljundviigu külge on ühendatud täitur, mis avab akent. Mikrokontroller on üle USB ühenduse lihtsalt programmeeritav [24].

#### **4.2.4 Mullaniiskusandur VMA303**

VMA303 on analoogväljundiga mullaniiskusandur. Seade töötab viie voldise pingega ja väljastab pinge vahemikus null kuni viis volti. See omakorda konverteeritakse kontrolleri ADC abil vahemikku 0 kuni 1023. VMA303 vajab eelnevalt kalibreerimist, sest andur ei anna täpset mullaniiskust vahemikus 0-100% [25].

#### **4.2.5 Temperatuuri- ja õhuniiskusandur DHT22**

DHT22 on digitaalne õhutemperatuuri ja -niiskust mõõtev andur. Ta vajab toiteks 3,3 kuni 6 voldist pinget. Andur mõõdab niiskust vahemikus 0-100% ning temperatuuri vahemikus -40°C kuni +80°C. Niiskusandurite täpsus on  $\pm 2\%$  ning temperatuuriandurite täpsus  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  [26].

Antud projektis kasutatakse kaht DHT22 andurit kasvuhoone kahel eri seinal, et mõõta täpsemalt kogu kasvuhoonesisest temperatuuri ja niiskust. Nende andmete põhjal saab kasutaja teha kindlaks, kas oleks tarvis täitur käivitada kasvuhoone temperatuuri ja niiskuse muutmiseks.

#### **4.2.6 Solenoid-veeklapp**

Prototüüp kasutab solenoid-veeklappi [27]. Veeklapp vajab toimimiseks pinget 12 volti ning voolu üks amper. Klapp on tavaolekus suletud ning vooluringi tekkimisel avatud. See on väga kasulik antud projektis, sest veeklapp on rohkem suletud kui avatud ja seetõttu tarbitakse voolu tunduvalt vähem. Veeklapp avatakse mikrokontrolleri digitaalse väljundiga läbi transistori ahela.

#### **4.2.7 Täitur**

Prototüüp kasutab akna avamiseks 12 voldil töötavat täiturit [28]. Täiturit kasutatakse tihti automaatselt avanevate kasvuhoone akende juhtimiseks. Valiti täitur, mis suudab tõsta kuni 10 kilogrammise massiga akent, sest raskemate akende mootorid on kallimad ning tänapäevaste kasvuhoonete aknad on tehtud kergematest materjalidest. Täituri kasuks mootori valikul on selle sujuv töötamine ja selle kuju sobivus.

#### **4.2.8 Veenivoo andur FLOODSW1**

Floodsw1 on lüliti põhimõttel töötav andur [29], mis saadab digitaalse ühe või nulli vastavalt sellele, kas seade on avatud või suletud olekus. Anduri küljes on polüpropüleenist otsik, mis hõljub vees, kui veetase on piisavalt kõrge. Tavaolekus on andur avatud ehk nelja kuni üheksa millimeetri kõrgusel anduri ülemisest otsast [29]. Antud projektis kasutatakse kahte andurit: üks on veepaagi ülemises ääres ning teine veepaagi põhjas. See võimaldab hinnata, kas veepaak on tühi, pooltäis või väga täis.

#### **4.2.9 Herkonrelee**

Herkonrelee HAA-308 on magneetiline lüliti [30], mis on tavaolekus suletud. Antud prototüübis on herkonrelee rolliks kontrollida akna olekut.

## 5 Loodud riistvara

Emaplaadil olevaid andureid ja mootoreid juhib mikrokontroller ATmega32U4 [24]. Protsessor on programmeeritav plaadile joodetud microUSB pesa kaudu. Plaadil on neli nuppu, millest kahte kasutatakse plaadi taaskäivitamiseks, uue koodi pealelaadimisel või tõrke korral. Nendeks on *reset* ja *bootloader*. Teised kaks nuppu olid algselt mõeldud ESP8266 wifi mooduli seadistamiseks, kuid autor asendas WiFi mooduli madalama volulutarbega xBee vastu ning seetõttu ei leidnud nupud kasutust. Emaplaadi disain ning elektroonika struktuurskeem on lisas 1 ja lisas 2.

Plaadil on järgnevad sisendid:

- plaadil on kaheksa 2,54 millimeetrise vahedega väljaviiku, et ühendada xBee plaadile. Nendest on kasutusel neli viiku: maandus, +3.3 V toide ja kaks viiku andmevahetuseks;
- kahe temperatuuri- ja õhuniiskusanduri kinnitamise jaoks on paigaldatud kruviterminalid. Mõlemad andurid vajavad viis volti toiteks, digitaalset ühendust mikrokontrolleriga ning maandust;
- herkonrelee ning kahe lüliti põhimõttel töötava veenivooanduri jaoks on samuti kruviterminalid, mis on ühendatud digitaalsignaali edastavate mikrokontrolleri jalgadega;
- mullaniiskusandur on ühendatud analoog-digitaalkonverterit omava mikrokontrolleri jalaga.

Plaadil on järgnevad väljundid:

- kahekohaline kruviterminal akent avava täituri jaoks. Mootori kaks signaali lähevad läbi mootoridraiveri kahte mikrokontrolleri digitaalsesse ühendusse;
- kahekohaline kruviterminal solenoidi toite- ja juhtimiseesmärgil. Solenoidi juhtimiseks kasutab mikrokontroller transistorit, mis asetseb solenoidi ning mikrokontrolleri signaali vahel.

Lisaks on plaadil alalisvoolu ühenduspesa, kaks pingemuundurit viie voldi ja 3,3 voldi genereerimiseks ning kaks kahekohalist varukruviterminali. Ühe külge on võimalik ühendada veemootor, mis kasutaks survevett ja teise külge saab ühendada alternatiivne toitesead, kui selline vajadus peaks tekkima. Emaplaadi disain ning skeem on kaasatud töösse lisadena 1 ja 2.

## 6 Loodud tarkvara

Nutikasvuhoooneks vajalik kood jaotub kolme osasse: Androidrakenduse kood programmeerimiskeeles Java, Raspberry Pi peal olev Pythoni kood ning trükkplaati juhtiv C-keeles kirjutatud kood.

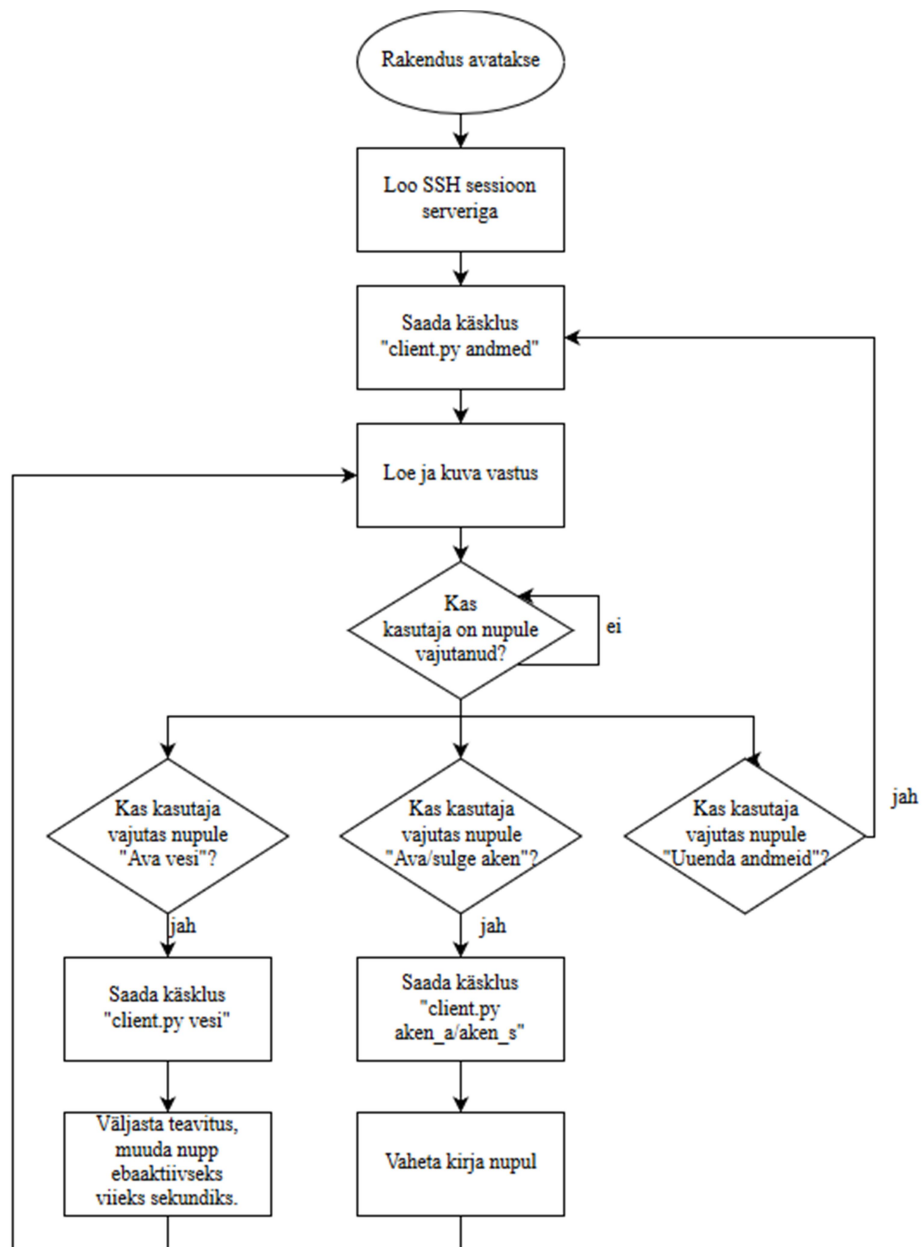
### 6.1 Androidi rakendus

Androidi rakenduse käivitamise hetkel (joonis 1) luuakse ühendus Raspberry Pi'ga (server), kasutades programmi sissekirjutatud IP-aadressi, porti, kasutajanime ja parooli ning avatakse suhtlemiseks SSH-sessioon. Rakendus küsib Pi käest andmeid kasvuhooone kohta, käivitades selleks Pythonis kirjutatud klient-rakenduse vastava parameetriga. Klient pöördub serveri poole ja saab serverilt vastuse. Saadud vastus saadetakse edasi rakendusse, kus sõnet töödeldakse ning saadud info kuvatakse arusaadaval kujul kasutaja ekraanile (joonis 2).

Rakenduses on kasutajal võimalik vajutada ühele kolmest nupust (joonis 1):

- Uuenda andmeid
- Ava/Sulge aken
- Käivita veesüsteem

Nupule vajutades käivitatakse taas Raspberry Pi peal kliendi programm, mis edastab käsu serverile. Server käitub vastavalt käsule ning vastab kliendile.



Joonis 1. Androidi rakenduse algoritm

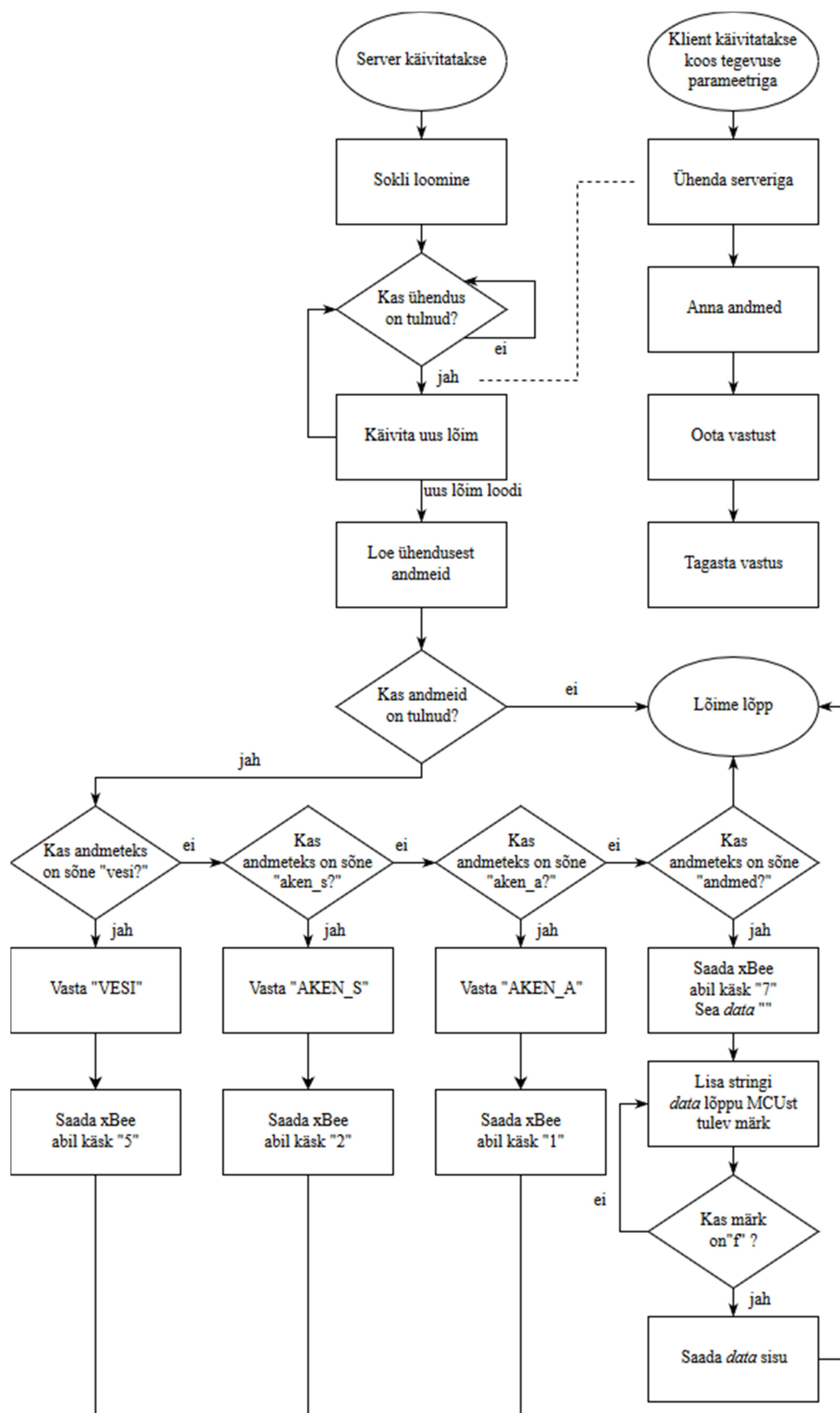




Joonis 2. Rakenduse avakuva andmete saamisel

## 6.2 Serveri tarkvara

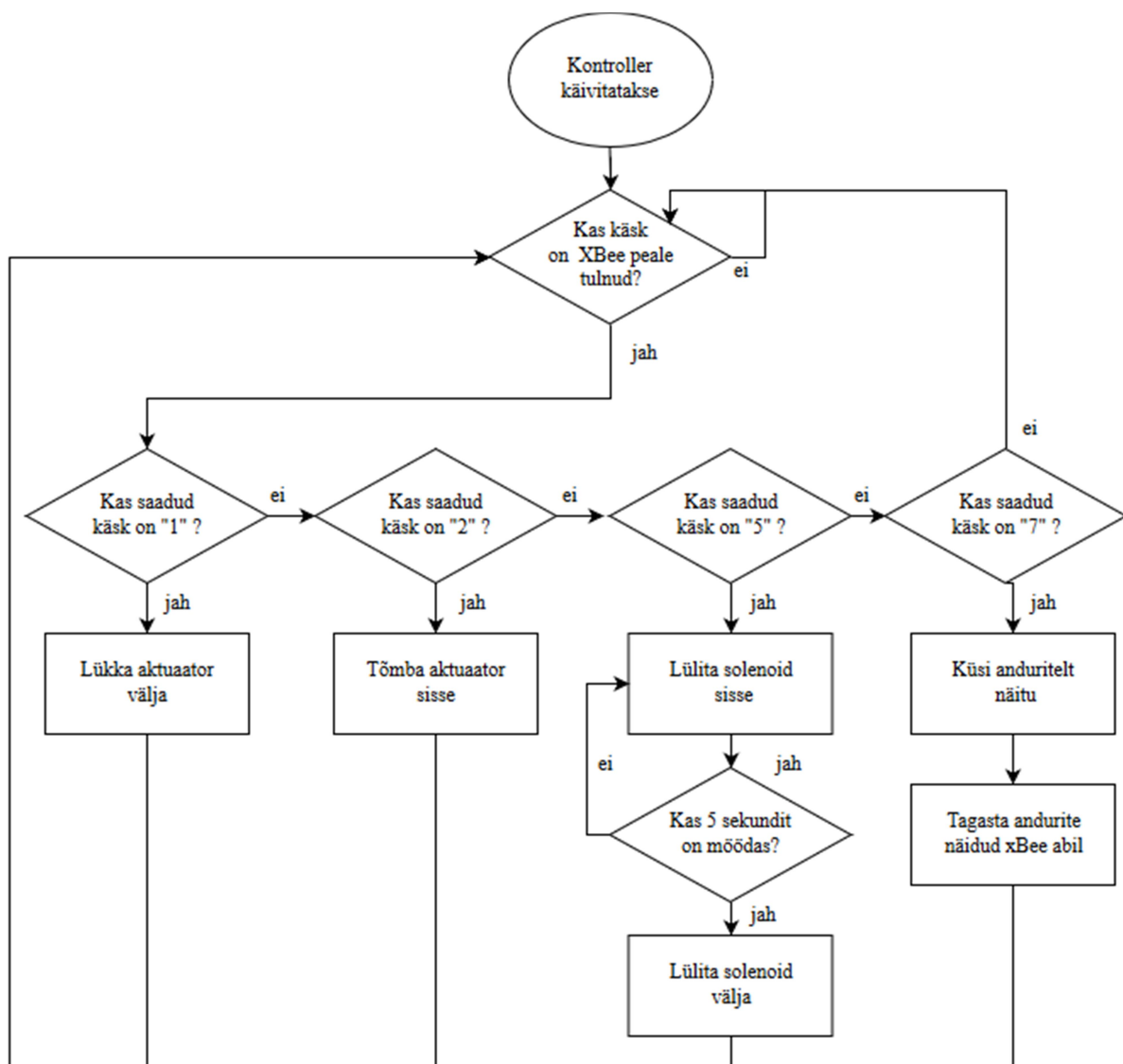
Raspberry Pi peale Pythonis kirjutatud serveri programm kasutab oma tööks mitut lõime (joonis 3). Esimene lõim võtab vastu kliendi-programmi ühendusi ja suunab need edasi teise lõime, kus käsk vastu võetakse ja sellele reageeritakse. Sissetulevaid käsked võib olla neli: ava aken, sulge aken, käivita veesüsteem või andmete päring. Käsk saadetakse lühemal kujul läbi Raspberry külge ühendatud xBee mooduli kasvuhoones asuvasse mikrokontrollerisse.



Joonis 3. Serveri-kliendi rakenduse tööalgoritm

## 6.3 Mikrokontrolleri püsitarkvara

Mikrokontrolleri kood kasutab tööks mitmeid funktsioone. Erinevad sensorid vajavad erinevat lähenemist. DHT22 andur vajab kindla ajavahemiku tagant andmeviigu oleku kontrollimist ja täieliku sõnumi koostamiseks kulub mõned millisekundid. VMA303 andur edastab analoogsignaali, mille mikrokontrolleri ADC täisarvuliseks väärtuseks muundab. Veenivoo andurid FLOODSW1 on digitaalse väljundiga ja samuti ka herkonrelee HAA308. Sama kehtib ka mikrokontrolleri väljundite kohta: solenoid-veeklapp vajab digitaalset lülitust ühest olekust teise, et asendit muuta, täiturile on jällegi parem, kui PWM'i abil saab liikumiskiirust sujuvalt kasvatada. Mikrokontrolleri põhitööks on UART'i andmevahetusregistri sisu kontrollimine. Kui xBee sinna midagi on kirjutanud, käitub kontroller vastavalt programmile. Joonisel 4 on kontrolleri tööalgoritm.



Joonis 4. Kontrolleri skeem.

## 7 Päikesepaneeli arvutus

Päikeseenergia põhinev süsteemi toide käesolevas töös küll ei valminud, kuid sellest hoolimata analüüsiti antud võimalust ja selleks sobivate komponentide võimalikke parameetreid.

Päikeseenergia hankimise põhikomponent on polükristalliline päikesepaneel mõõtmetega 65 mm\* 35 mm ja võimsusega 60 W [31].

	Vool	Pinge
xBee	0,01 mA (50 mA andmeid edastades)	3,3 V
DHT22	0,05 mA (1,5 mA andmeid edastades)	5 V
VMA303	1,6 mA	5 V
FLOODSW1	0,1 mA	5 V
HAA308	0,1 mA	5 V
Atmega32U4	27 mA	5 V
Täitur	2 A	12 V
Solenoid	1 A	12 V

**Tabel 1. Kasutatud seadmete voolutarbed ja pinged.**

Kasvuhoone maksimaalne voolutarve on tabeli järgi 3,09 amprit (tabel 1). Sellest kulub täituri juhtimiseks 2 amprit, solenoidi juhtimiseks 1 amper. Ülejäänud 0,9 amprist kulub 61 mA süsteemilt andmete küsimiseks ning süsteemi tööks 29 mA. Eelnevast järeldades vajab kasvuhoone töötamiseks maksimaalselt võimsust  $3,09 \cdot 12 = 37$  W.

Võimsus jaotub lahenduses järgnevalt:

- täituri juhtimiseks on vaja maksimaalselt  $(2 / 3,09) \cdot 37 = 23,95$  W
- solenoidi juhtimiseks on vaja maksimaalselt  $(1 / 3,09) \cdot 37 = 11,97$  W
- süsteemilt andmete on vaja maksimaalselt  $(0,061 / 3,09) \cdot 37 = 0,73$  W
- süsteemi töötamiseks on vaja maksimaalselt  $(0,029 / 3,09) \cdot 37 = 0,35$  W

Programmis on määratud, et täituri juhtimiseks kulub 2 sekundit, solenoidi tööks 5 sekundit ning andmete küsimiseks 2 sekundit.

Juhul, kus täiturit käivitatakse 10 korda, solenoidi 10 korda ning andmeid küsitakse 30 korda ööpäevas, on nende tööajad vastavalt 20 sekundit, 50 sekundit ning 60 sekundit. Kasvuhoone süsteem töötab ööpäevaringselt.

Täituri ööpäevane voolutarve konkreetsel juhul oleks:

$$(20 \text{ s} / 3600 \text{ s}) * 23,95 \text{ W} = 0,13 \text{ Wh.}$$

Solenoidi ööpäevane voolutarve konkreettsel juhul oleks:

$$(50 \text{ s} / 3600 \text{ s}) * 11,97 \text{ W} = 0,17 \text{ Wh.}$$

Andmete küsimisele kuluv ööpäevane voolutarve konkreettsel juhul oleks:

$$(60 \text{ s} / 3600 \text{ s}) * 0,73 \text{ W} = 0,01 \text{ Wh.}$$

Kasvuhoone süsteemi ööpäevane voolutarve konkreettsel juhul oleks:

$$24\text{h} * 0,35\text{W} = 8,4 \text{ Wh.}$$

Seega terve süsteemi ööpäevane voolutarve konkreettsel juhul oleks:

$$0,13\text{Wh} + 0,17\text{Wh} + 0,01\text{Wh} + 8,4\text{Wh} = 8,71\text{Wh.}$$

Võttes aku mahutavuseks näiteks 30 Ah 12 V toite korral, saaks energiat:  $30 \text{ Ah} * 12 \text{ V} = 360 \text{ Wh}$ .

Laetud aku suudaks laadimata toita tervet süsteemi  $360 \text{ Wh} / 8,71\text{Wh} = 41,3$  tundi. Selle tundide arvuga saab ära toita nii kaks järjestikust ööd ja vajadusel ka vahepeale jääva pilvise päeva.

Aku laadimiseks soovitatakse laadida teda 10%-ga sellest voolust, mis ta mahutavuses kirjas on [32]. Seega valitud aku näitel oleks laadimisvool 3 amprit. 12 voldise aku laadimiseks 3 ampriga on vaja vähemalt 36 vatise võimsusega laadimist. Selleks on aku ja võimsusallika vahel kontrollerr, mis reguleerib laadimisvoolu. Kuna energiaallikaks on polükristalliline päikesepaneel, siis on pilvise ilma korral paneelist maksimumvõimsust raske kätte saada. Lisaks on meil vaja, et vajadusel suudaks päikesepaneel samaaegselt varustada elektrienergiaga kasvuhoone süsteemi ning laadida akut.

Järgnevalt arvutame, kui suurt päikesepaneeli oleks vaja kogu kasvuhoone süsteemi tööshoidmiseks.

Maikuupäeva keskmine kiirgusvoog ruutmeetri kohta on ca  $240 * 24 = 5760 \text{ Wh/m}^2$  [33].

Päikesepaneel kaotab sellest ~15% [34] ja sellest kaotamata saadakse sellest umbes ~75% [35].

Ideaalse paneeli suurus on tuletatud aastase päikeseenergia valemist [35]

$$E = A * r * H * PR$$

E – energia (Wh),

A – päikesepaneeli täispindala ( $\text{m}^2$ ),

$r$  – päikesepaneeli efektiivsus (%),

$H$  – keskmine kiirgusvoog ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),

$PR$  – kasutegur.

Antud valemiga arvutades saame päikesepaneeli suuruse, mis suvel maikuus volutarbe rahuldaks.

$$A = E / (H * r * PR) = 8,71 \text{ Wh} / (5760 \text{ W}/\text{m}^2 * 0.15 * 0.75) = 0.0134 \text{ m}^2$$

30 W võimsusega paneeli pindala on  $0,2275 \text{ m}^2$  [31], seega annab paneel päevas energiat 147 W. Sellest peaks selle kasvuhoone jaoks piisama, kuid võib jääda puudu aku laadimiseks, kuna aku efektiivseimaks laadimiseks on vaja 3 A, aga 30 W paneel annab  $30/12=2.5\text{A}$ . Suuruselt järgmine sobilik paneel, on 60 W ja  $0,4355 \text{ m}^2$ , millest peaks piisama nii aku laadimiseks kui ka kogu süsteemi energiavajaduse katmiseks.

## 8 Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli luua prototüüp nutikast kasvuhoonest, mida saab monitoorida ja juhtida ka väljaspool kodutingimusi. Bakalaureusetöö käigus kirjeldati turul olevaid seadmeid koos nende puuduste ja eelistega.

Töö käigus valmis lahenduse prototüüp, mis koosneb statsionaarsest kasvuhoone kontrollerist (lisa 3), andmete kuvamiseks ja mootorite juhtimiseks loodud Androidi rakendusest ning serveriprogrammist, mis loob suhtluse kontrolleri ja rakenduse vahel.

## 9 Kasutatud kirjandus

- [1] Vallaste e-teatmik [Võrgumaterjal] [Vaadatud 30.04.2018] <http://www.vallaste.ee/>
- [2] V. Vodovozov, D. Vinnikov, R. Jansikene „Elektriamite elektroonsed süsteemid” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] [http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV0050/Elektriamite\\_elektoonse\\_d\\_susteemid.pdf](http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV0050/Elektriamite_elektoonse_d_susteemid.pdf)
- [3] MikroElektronika „UART- Serial communication” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.mikroe.com/blog/uart-serial-communication>
- [4] TechTerms „GPIO” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://techterms.com/definition/gpio>
- [5] J.C. Schmidt „Requirements for Plant Growth” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] [http://www.aces.uiuc.edu/vista/html\\_pubs/hydro/require.html](http://www.aces.uiuc.edu/vista/html_pubs/hydro/require.html)
- [6] Kantar Emor „Nutiseadmete kasutajate turvateadlikkuse ja turvalisuse käitumise uuring” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] [https://www.ria.ee/public/toetusskeem/nuti-uuring2017\\_aruanne.pdf](https://www.ria.ee/public/toetusskeem/nuti-uuring2017_aruanne.pdf)
- [7] Postscapes „Smart Greenhouse Remote Monitoring Systems” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.postscapes.com/wireless-open-source-hydroponics-harvestgeek/>
- [8] Sensaphone „Greenhouse Remote Monitoring Systems” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.sensaphone.com/industries/greenhouse.php>
- [9] Sensaphone „Sensaphone 1800” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.sensaphone.com/industries/greenhouse/product/sensaphone-1800.php>
- [10] Amazon „Sensaphone 1800CD Remote Monitor” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.amazon.com/Sensaphone-FGD-1800-CD-1800-CD-Remote-Monitor/dp/B004KZM914>
- [11] Sensaphone Remote Monitoring Solutions „Sensaphone Express II” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.sensaphone.com/industries/greenhouse/product/sensaphone-express-ii.php>
- [12] Amazon „Sensaphone Express II Monitoring System” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.amazon.com/Sensaphone-Express-II-Monitoring-System/dp/B003EUYG6M>

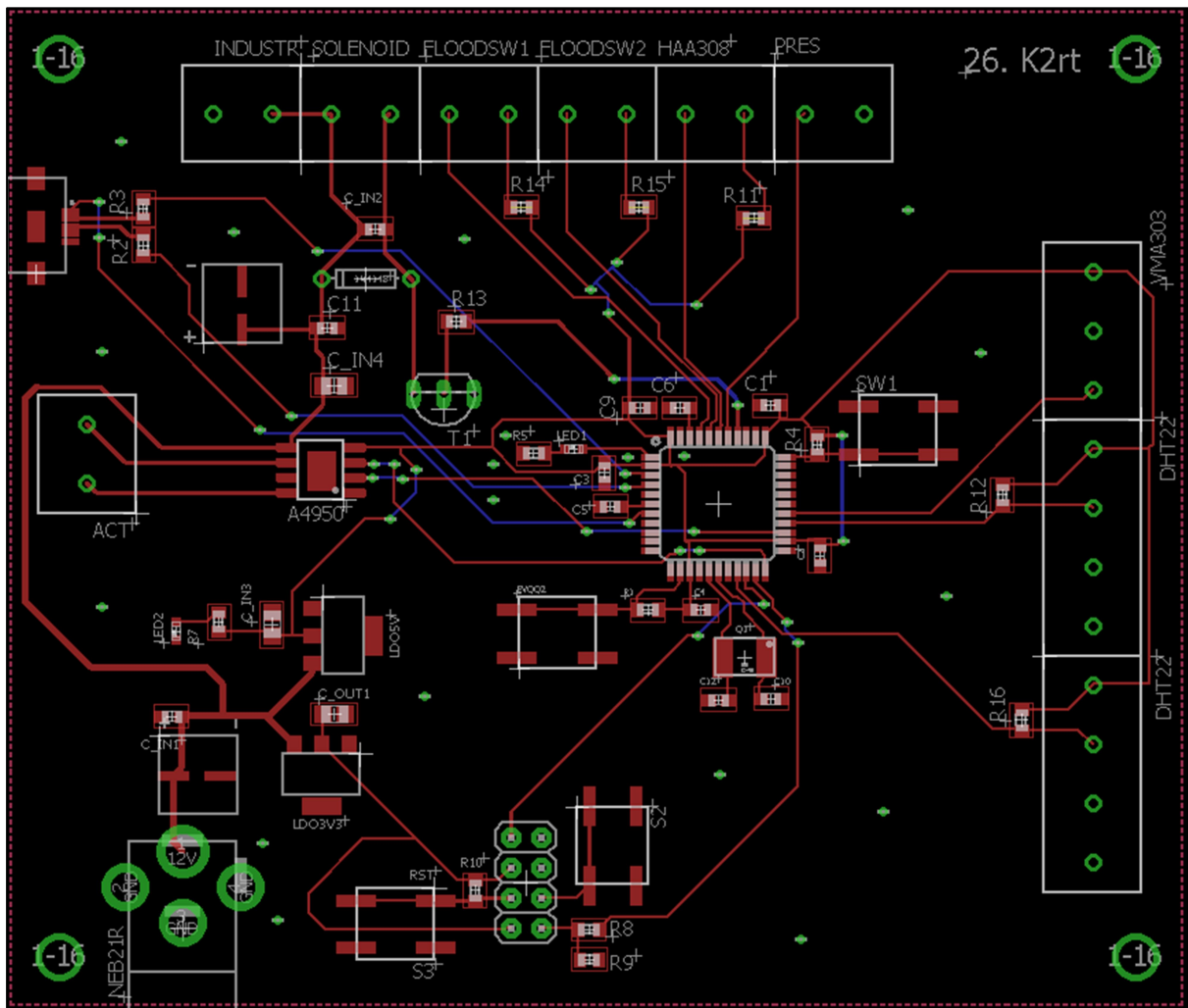


- [13] Sensaphone Remote Monitoring Solutions „Sensaphone Sentinel” [Võrgumaterjal]  
[Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.sensaphone.com/industries/greenhouse/product/sensaphone-sentinel.php>
- [14] Amazon „Sensaphone Sentinel (Ethernet Option)” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.amazon.com/Sensaphone-SCD-1200-Sentinel-Ethernet-Option/dp/B00Y3O76WY>
- [15] Growtronix „How Growtronix Works” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.growtronix.com/cart/blog/how-growtronix-works-n5>
- [16] Growtronix „Low Voltage Relay Module” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.growtronix.com/cart/add-on-hardware/20-dual-power-supply-relay.html>
- [17] Monnit „Monnit Remote Monitoring Systems for Greenhouse Monitoring” [Võrgumaterjal]  
[Vaadatud 7.05.2018] <https://www.monnit.com/solutions/greenhouse-monitoring>
- [18] Growlink „Smart Environment Controller” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<http://growlink.com/shop/ec-1/>
- [19] Instructables „Arduino Controller Greenhouse (With Blynk as Interface)” [Võrgumaterjal]  
[Vaadatud 7.05.2018] <http://www.instructables.com/id/Arduino-Controlled-Greenhouse-With-Blynk-As-Interf/>
- [20] Arduino koduleht [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018] <https://www.arduino.cc/>
- [21] Digi xBee S1 802.15.4 RF Modules Datasheet [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
[https://www.digi.com/pdf/ds\\_xbeemultipointmodules.pdf](https://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf)
- [22] Raspberry Pi Foundation „Raspberry Pi Documentation” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.raspberrypi.org/documentation/>
- [23] Raspberry Pi Foundation „Raspberry Pi 3 model B” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [24] Atmel Atmega16U4/ Atmega32U4 andmelehe kokkuvõte [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4\\_Summary.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7766-8-bit-AVR-ATmega16U4-32U4_Summary.pdf)
- [25] Velleman „VMA303 Datasheet” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
[https://www.velleman.eu/downloads/29/vma303\\_a4v01.pdf](https://www.velleman.eu/downloads/29/vma303_a4v01.pdf)

- [26] SparkFun Electronics „DHT22 datasheet” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [27] Gravity water pressure solenoid valve [Võrgumaterjal] [Vaadatud 18.05.2018]  
<https://www.aliexpress.com/item/No-pressure-valve-12V-solenoid-valve-0-0-08Mpa-for-Gravity-water-pressure-12mm-12mm-water/32829997020.html>
- [28] Electric Linear Actuator 12V [Võrgumaterjal] [Vaadatud 18.05.2018]  
<https://www.aliexpress.com/item/Electric-Linear-Actuator-12v-DC-Motor-100mm-1000N-100kg-Stroke-Linear-Motion-Controller-12mm-s-100kg/32688359779.html?>
- [29] Ronex OÜ „Floodsw1” andmeleht [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
[http://www.ronex.ee/index.php?product\\_id=2420&group\\_id=562&page=79&action=show\\_product\\_details](http://www.ronex.ee/index.php?product_id=2420&group_id=562&page=79&action=show_product_details)
- [30] Haa308 infosheet [Võrgumaterjal] [Vaadatud 7.05.2018]  
<https://www.velleman.eu/downloads/3/haa301-309.pdf>
- [31] SOL10p/SOL30P/SOL60P polükristallilise päikesepaneeli andmeleht [Võrgumaterjal]  
[Vaadatud 12.05.2018]  
[https://www.velleman.eu/downloads/6/sol10p\\_sol30p\\_sol60pa5v02.pdf](https://www.velleman.eu/downloads/6/sol10p_sol30p_sol60pa5v02.pdf)
- [32] Battery University „Charging with a power supply” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 12.05.2018]  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_with\\_a\\_power\\_supply](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_with_a_power_supply)
- [33] E-ilmajaam Tartus füüsikahoone katusel [Võrgumaterjal] [Vaadatud 12.05.2018]  
<http://meteo.physic.ut.ee/>
- [34] Taastuenergia „Päikesepaneeli ehitus ja efektiivsus” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 12.05.2018]  
<http://www.taastuenergia.ee/paikese-ja-tuuleenergia-alased-infomaterjalid/paikesepaneeli-ehitus-ja-efektiivsus/>
- [35] Photovoltaic Software „How to calculate the annual solar energy output of a photovoltaic system?” [Võrgumaterjal] [Vaadatud 12.05.2018]  
<http://photovoltaic-software.com/PV-solar-energy-calculation.php>
- [36] Autodesk Eagle Tarkvara Esileht [Võrgumaterjal] [Vaadatud 12.05.2018]  
<https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>

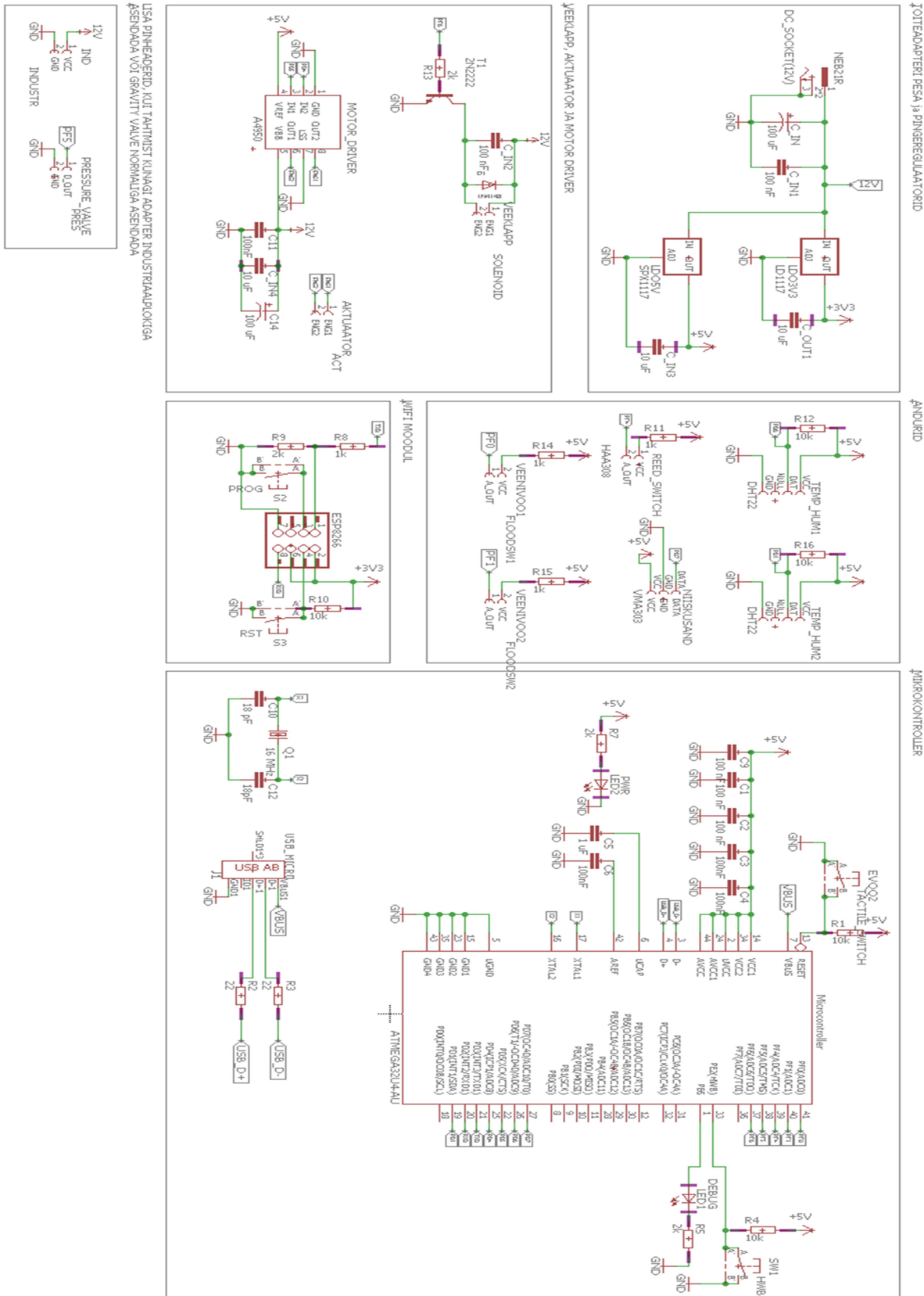
# Lisa 1. Trükkplaadi disain

Trükkplaadi disain on koostatud Eagle tarkvara abil [36].



## Lisa 2. Trükküplaadi skeem

Trükküplaadi skeem on koostatud Eagle tarkvaras.



### Lisa 3. Valminud kasvuhoone kontrollier



# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemisel**

Mina, Kärt Poots

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Nutikasvihuone”

mille juhendajad on Heiki Kasemägi ja Teet Tilk,

- a. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- b. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 20.05.2018